

PENURUNAN KONSENTRASI GAS KARBON MONOKSIDA DARI KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN ADSORBEN ZEOLIT ALAM

Lalak Tarbiyatun Nasyin Maleiva^{1*}, Berlian Sitorus¹, Dian Rahayu Jati²

¹Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura

²Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura

Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak, 78124

*e-mail: la2k_maleiva@yahoo.com

ABSTRAK

Karbon monoksida (CO) merupakan emisi pencemar paling dominan sebagai hasil pembakaran tidak sempurna dari kendaraan bermotor. Gas ini bersifat racun terhadap darah, sistem pernapasan dan saraf. Penggunaan material mikropori seperti zeolit alam diketahui mampu menurunkan konsentrasi CO. Zeolit yang telah dipreparasi, selanjutnya didealuminasi menggunakan HCl 6M dan dikarakterisasi dengan X-Ray Fluorescence (XRF) dan Gas Sorption Analyzer (GSA) pada zeolit tanpa dan dengan dealuminasi. Pengukuran konsentrasi CO dilakukan dengan pemasangan tabung adsorben tanpa dan dengan dealuminasi pada knalpot motor dengan variasi panjang tabung 5 dan 15 cm. Penurunan konsentrasi CO menggunakan adsorben tanpa dealuminasi dengan panjang tabung 5 dan 15 cm berturut-turut adalah 42,35% dan 57,40% serta menggunakan adsorben dengan dealuminasi berturut-turut adalah 53,83% dan 98,21%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa zeolit dengan dealuminasi mampu mengadsorpsi CO paling optimum dengan panjang tabung 15 cm. Kapasitas adsorpsi zeolit alam menggunakan dealuminasi dihitung berdasarkan isoterm BET yaitu 0,361 dan 0,395 g CO/g.

Kata kunci: adsorpsi, dealuminasi, karbon monoksida, kendaraan bermotor, zeolit alam

PENDAHULUAN

Gas karbon monoksida (CO) merupakan gas yang banyak terdapat di udara akibat adanya proses pembakaran yang tidak sempurna. Gas CO ini tidak berbau, tidak berasa dan tidak berwarna sehingga lingkungan yang tercemar sulit dikenali. Gas CO sangat berpengaruh bagi kesehatan manusia karena bersifat racun terhadap darah, sistem pernafasan dan saraf. Daya ikat hemoglobin untuk mengikat CO sekitar 200 kali lebih besar dibandingkan daya ikatnya terhadap oksigen sehingga pada konsentrasi tertentu dapat menyebabkan kematian (Kusuma, 2002; Sumardjo, 2008).

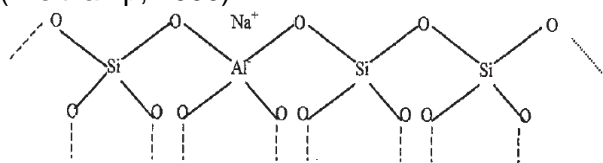
Wardhana (1995) juga mengatakan bahwa gas CO adalah komponen pencemar paling dominan di udara yang bersumber dari kendaraan bermotor yaitu sebesar 70,50%. Namun belakangan ini telah banyak dikembangkan penelitian mengenai penurunan gas CO yang bersumber dari kendaraan bermotor diantaranya menggunakan gipsum (Agung dkk, 2005),

arang tempurung kelapa yang disisipi TiO₂ (Basuki dkk, 2008), arang aktif (Maryanto dkk, 2009), *prototype* katalitik *converter* dari tembaga berlapis mangan (Irawan dkk, 2011), sistem *re-heater* (Kusuma, 2002), adsorben zeolit alam dan kitosan (Ronaldo, 2008) dan lain-lain.

Secara umum, metode yang digunakan dalam penelitian-penelitian tersebut adalah adsorpsi. Adsorpsi merupakan proses penyerapan molekul-molekul adsorbat pada permukaan adsorben. Proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh karakter pori adsorben yang harus berukuran mikropori (diameter $\leq 20\text{\AA}$) karena gas yang akan diserap berukuran kecil yaitu $< 4\text{\AA}$ (Tagliabue *et al.*, 2009).

Zeolit diketahui merupakan material mikropori dengan ukuran pori 5\AA sampai $>7\text{\AA}$ (Tagliabue *et al.*, 2009). Zeolit adalah mineral alam yang banyak terdapat di Indonesia dimana hal ini didukung oleh letak geologis Indonesia yang berada di jalur pegunungan berapi dunia yang membuatnya kaya akan potensi sumber

daya alam seperti batuan gunung berapi yang merupakan sumber mineral zeolit (Yuliusman dkk, 2010). Zeolit tersusun atas kerangka alumino silikat (SiO_4 dan AlO_4) dalam struktur tetrahedral yang saling terhubung oleh atom-atom oksigen (Weitkamp, 2000).



Gambar 1. Struktur Zeolit (Zubaidi, 2003)

Struktur bagian dalam zeolit yang membentuk lubang dapat diisi dengan molekul-molekul lain. Molekul yang dapat masuk ke dalam struktur zeolit hanyalah molekul yang memiliki ukuran yang sama atau lebih kecil dari ukuran lubang zeolit, sehingga molekul yang berukuran lebih besar dari ukuran lubang zeolit tidak dapat masuk (Kurniasari, 2010). Hal inilah yang membuat zeolit dapat digunakan untuk mengadsorpsi gas CO dari kendaraan bermotor.

Namun untuk meningkatkan performa zeolit dalam mengadsorpsi gas CO, maka dilakukan dealuminasi yang merupakan pemutusan ikatan Al dan penataan ulang kerangka zeolit. Putusnya ikatan Al tersebut dapat meningkatkan rasio Si/Al zeolit sehingga semakin bersifat hidrofob. Proses dealuminasi juga dapat menghilangkan kation-kation pengotor pada kerangka zeolit serta membuat zeolit stabil pada kondisi asam dan temperatur tinggi (Lestari, 2010).

Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan zeolit alam dalam mengadsorpsi gas CO dari kendaraan bermotor dengan variasi panjang tabung adsorben dan penggunaan zeolit tanpa dan dengan dealuminasi. Selain itu juga untuk mengetahui kapasitas adsorpsi zeolit tanpa dan dengan dealuminasi menggunakan isotherm adsorpsi yang sesuai.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain alu dan lumpang, ayakan 100 mesh, emission analyzer (Automotive Emission Analyzer Sukyoung SY-GA 401), mesin uji roda 2 (4 langkah) berbahan bakar bensin, neraca analitik,

oven, pH universal, tabung adsorben, spatula, Gas Sorption Analyzer (GSA) dan X-Ray Fluorescence (XRF).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya akuades, akua demineralisasi, HCl, kanji dan zeolit alam.

Prosedur Penelitian

Preparasi Zeolit Alam

Zeolit digerus dan diayak hingga diperoleh ukuran 100 mesh, dicuci dengan akuades hingga zeolit menjadi netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 5 jam (Sriatun dan Darmawan, 2005).

Dealuminasi Zeolit

Setiap 400 gram zeolit yang telah dipreparasi, direndam dalam 800 mL HCl dengan konsentrasi 6M selama 24 jam, lalu disaring dan dicuci dengan akuades sampai zeolit menjadi netral, dikalsinasi dalam tanur pada suhu 450°C selama 2 jam (Zubaidi, 2003 ; Swantomo dkk., 2009). Karakterisasi dilakukan terhadap zeolit alam tanpa dan dengan proses dealuminasi menggunakan XRF dan GSA.

Pembuatan Tabung Adsorben

Tabung adsorben dibuat dengan material polivinil klorida (PVC) berdiameter 1 inchi dengan variasi panjang 5 dan 15 cm. Pada kedua ujung tabung dibuat lubang sebagai tempat untuk memasukkan zeolit dan tempat penghubung saluran ke knalpot motor.



Gambar 2. Tabung Adsorben

Pembuatan Pelet Zeolit

Zeolit yang telah dipreparasi (tanpa dan dengan dealuminasi) dicampurkan dengan kanji dengan perbandingan massa 5:1. Kemudian ditambahkan dengan akua demineralisasi secukupnya hingga keduanya bercampur dan dapat dibentuk menjadi pelet. Setelah itu, pelet zeolit dikeringkan di dalam oven pada 100°C selama 1 jam. Pelet zeolit yang sudah

kering selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung adsorben.



Gambar 3. Pelet Zeolit

Persiapan Kendaraan Uji dan Adsorpsi Gas CO dari Kendaraan Bermotor

Kendaraan yang diukur harus pada kondisi *idle*, yaitu (SNI 09-7118.3-2005):

1. Posisi datar dan pipa gas buang (knalpot) tidak bocor
2. Sistem aksesoris (lampu) dalam keadaan mati
3. Kondisi temperatur tempat kerja pada 20°C sampai dengan 35°C

Saluran gas buang (knalpot) dihubungkan ke tabung yang berisi adsorben kemudian dilakukan adsorpsi. Gas CO yang berasal dari kendaraan uji, diukur dahulu konsentrasinya tanpa adsorben menggunakan *gas emission analyzer* (Automotive Emission Analyzer Sukyoung SY-GA 401). Konsentrasi CO diukur menggunakan adsorben zeolit tanpa dan dengan dealuminasi dengan panjang tabung 5 dan 15 cm. Persentase gas CO yang diadsorpsi dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\% \text{ CO diadsorpsi} = \frac{\% \text{ CO tanpa adsorben} - \% \text{ CO dengan adsorben}}{\% \text{ CO tanpa adsorben}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Preparasi Zeolit Alam

Preparasi sampel zeolit alam diawali dengan proses penggerusan dan pengayakan hingga diperoleh zeolit dengan ukuran 100 *mesh*. Proses ini dilakukan untuk memperkecil dan menghomogenkan ukuran butir zeolit. Zeolit yang telah homogen ukurannya akan menghasilkan interaksi yang sama di setiap sisi aktifnya. Selain itu, ukuran zeolit yang kecil akan dapat meningkatkan luas permukaan sehingga area kontak zeolit dengan adsorbat juga semakin besar. Zeolit selanjutnya dicuci dengan akuades hingga netral untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik yang menempel pada permukaan zeolit. Penggunaan akuades

pada proses ini dikarenakan sifatnya yang netral sehingga tidak mempengaruhi performa zeolit dalam mengadsorpsi dan juga merupakan pelarut universal yang bersifat polar sehingga dapat melarutkan pengotor-pengotor yang bersifat polar yang menutupi permukaan zeolit. Zeolit kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 5 jam untuk menguapkan air yang terkandung pada zeolit.

Proses Dealuminasi Zeolit

Dealuminasi merupakan proses modifikasi dan aktivasi secara kimia yang menjadi tahap penting terkait fungsi zeolit sebagai adsorben. Dealuminasi ini umumnya dilakukan dengan pengasaman yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor-pengotor anorganik yang menutupi pori zeolit. Secara umum, tujuan utama proses dealuminasi adalah untuk menata ulang struktur kerangka zeolit dimana terjadi pemutusan Al di dalam kerangka sehingga rasio Si/Al semakin meningkat yang menyebabkan zeolit semakin bersifat hidrofobik. Zeolit bersilika tinggi dapat stabil hingga temperatur 1300 K dan juga lebih stabil dalam lingkungan asam kuat (Lestari, 2010).

Pada tahap dealuminasi ini, zeolit yang telah dipreparasi, direndam dengan HCl 6M. Konsentrasi 6M pada HCl dapat melepaskan alumina dari kerangka zeolit tanpa terjadi destruksi. Selain itu, HCl 6M dapat melarutkan pengotor-pengotor kation yang menutupi pori zeolit sehingga pori zeolit menjadi terbuka dan permukaannya menjadi lebih luas. Kation-kation pada kerangka zeolit dapat ditukar dengan ion H⁺ dari HCl tanpa mengubah struktur kerangka zeolit (isomorf) (Lestari, 2010).

Pada saat dealuminasi, menurut Weitkamp and Puppe (1999), ion H⁺ yang dihasilkan dari ionisasi HCl dalam air akan memutus ikatan Al pada kerangka zeolit dan diserang oleh atom oksigen yang terikat pada Si dan Al. Ion H⁺ cenderung lebih mudah memutus ikatan Al-O daripada Si-O. Hal ini dikarenakan energi disosiasi ikatan Al-O (116 kkal/mol) lebih rendah dibandingkan Si-O (190 kkal/mol).

Ion Cl⁻ yang juga merupakan hasil ionisasi dari HCl akan mempengaruhi kekuatan ikatan Al-O dan Si-O. Ion Cl⁻ yang memiliki elektronegativitas tinggi (3,16) dan berukuran kecil ($r = 0,97\text{\AA}$) akan cenderung

berikatan dengan kation-kation bervalensi besar seperti Si^{4+} dan Al^{3+} . Namun, ion Cl^- akan cenderung berikatan dengan atom Al yang memiliki nilai keelektronegatifan yang lebih kecil (1,61) daripada Si (1,90) (Weitkamp and Puppe, 1999). Pemutusan Al oleh ion H^+ dan pengikatan ion Cl^- terhadap Al inilah yang menyebabkan Al terisolasi dari kerangka zeolit sehingga dapat meningkatkan rasio Si/Al.

Zeolit yang telah direndam dengan HCl 6M, selanjutnya dicuci dengan akuades hingga zeolit menjadi netral. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan ion-ion Cl^- pada kerangka zeolit. Kalsinasi kemudian dilakukan pada zeolit yang telah netral pada suhu 450°C untuk menguapkan kandungan air yang terkandung dalam zeolit serta menghasilkan zeolit yang stabil pada suhu tinggi. Suhu 450°C tersebut cukup efektif dan tidak merusak struktur awal zeolit. Hal ini juga menandakan bahwa zeolit alam mempunyai kestabilan struktur kerangka yang cukup tinggi walaupun terbentuk secara alami.

Komposisi Kimia Zeolit Alam

Komposisi kimia yang terkandung di dalam zeolit baik tanpa maupun dengan dealuminasi dapat diketahui melalui hasil karakterisasi menggunakan XRF seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Zeolit Alam

Unsur	Tanpa Dealuminasi (%)	Dengan Dealuminasi (%)
Si	31,51	35,09
Ti	0,0867	0,0856
Al	5,94	5,45
Fe	1,30	1,02
Ca	1,67	1,44
Mg	0,619	0,372
Na	0,303	0,406
K	2,54	2,13

Berdasarkan data pada Tabel 1 di atas, dapat diketahui bahwa tahap aktivasi secara kimia melalui proses dealuminasi memberikan perubahan pada komposisi zeolit alam. Larutan HCl 6M yang digunakan telah mensubstitusi dan melarutkan pengotor-pengotor organik maupun anorganik seperti logam Fe, Ca dan logam-logam alkali serta alkali tanah yang menutupi pori zeolit dengan adanya ion H^+ di dalam asam tersebut. Hal ini

menyebabkan terjadinya perubahan rasio Si/Al tanpa dan dengan dealuminasi yaitu dari 5,3 menjadi 6,4.

Adapun proses dealuminasi yang dilakukan oleh Zubaidi (2003), juga menggunakan HCl 6M dengan perbandingan 400 gram zeolit di dalam 800 mL HCl namun disertai pula dengan perendaman di dalam NH_4NO_3 2N selama 4 jam menghasilkan kenaikan rasio Si/Al yang sangat tinggi yaitu dari 5,3 menjadi 26,9. Dengan demikian, jika dibandingkan dengan penelitian Zubaidi (2003) tersebut, kenaikan rasio Si/Al pada penelitian ini dapat dikatakan tidak maksimal karena penurunan komposisi Al di dalam zeolit sangat kecil yaitu hanya sebesar 0,49%. Hal ini tidak sesuai dengan yang diharapkan karena tujuan utama dari proses dealuminasi adalah untuk memutus ikatan Al di dalam kerangka zeolit.

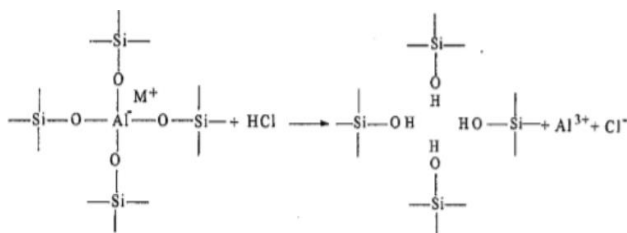
Karakter Pori Zeolit Alam

Karakter pori zeolit dapat diperoleh melalui karakterisasi menggunakan instrumen GSA yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Karakter Pori Zeolit Alam

Karakter Pori	Tanpa Dealuminasi	Dengan Dealuminasi
Luas Permukaan (m^2/g)	100,424	93,453
Volume Total Pori (cm^3/g)	0,09953	0,1269
Diameter Pori (\AA)	12,12	11,96

Luas permukaan menunjukkan sisi aktif pada permukaan zeolit sebagai area kontak dengan adsorbat. Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa luas permukaan zeolit mengalami penurunan setelah dilakukan proses dealuminasi. Hal ini dapat dikarenakan proses dealuminasi yang terjadi kurang baik dimana struktur zeolit mengalami sedikit kerusakan. Ketika Al terputus oleh ion H^+ seharusnya terjadi penataan ulang struktur kristal zeolit yang berbentuk sangkar dengan pergeseran Si. Namun yang terjadi pada proses ini, Al yang meninggalkan kerangka zeolit membuat rongga sehingga menyebabkan kerangka zeolit tersebut rapuh kemudian hancur sehingga dealuminasi yang dilakukan menyebabkan luas permukaan zeolit menjadi sedikit lebih kecil.

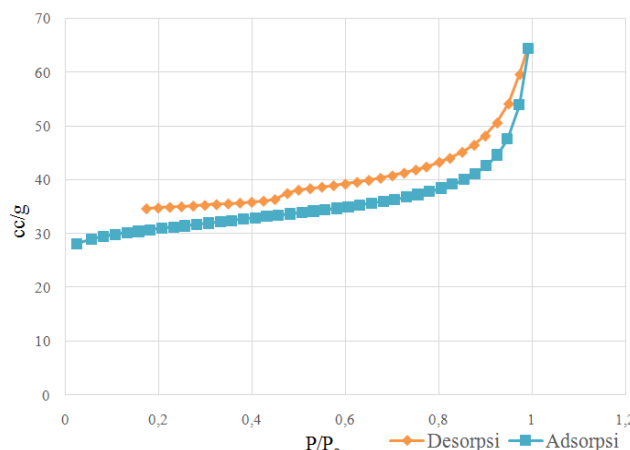


Gambar 4. Rongga pada Kerangka Zeolit Akibat Dealuminasi (Zubaidi, 2003)

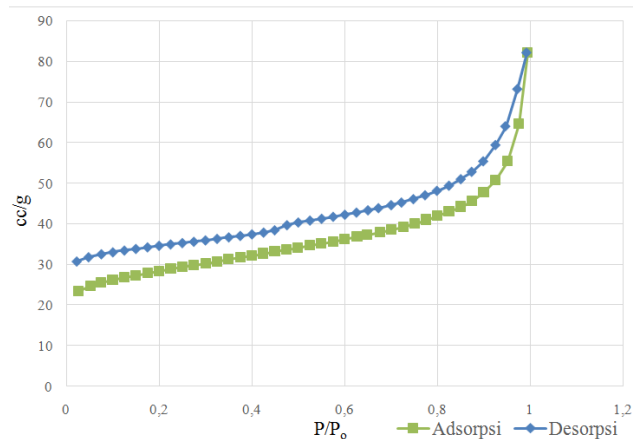
Volume total pori menunjukkan jumlah total adsorbat yang dapat teradsorpsi pada pori zeolit. Semakin besar volume total pori, maka kapasitas adsorbat yang dapat teradsorpsi pada pori zeolit juga semakin meningkat. Berbeda dengan luas permukaan, volume total pori zeolit mengalami peningkatan setelah dilakukan proses dealuminasi. Sedangkan diameter pori, semakin kecil ukurannya maka luas permukaan akan semakin besar. Selain itu, diameter pori yang semakin kecil juga membuat zeolit menjadi lebih selektif terhadap gas-gas tertentu yang tidak sesuai dengan ukuran porinya.

Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa kenaikan volume total pori dan penurunan diameter pori zeolit sangat kecil. Hal ini memungkinkan proses penyerapan gas CO menggunakan zeolit tanpa dan dengan dealuminasi menghasilkan persentase penurunan yang tidak berbeda signifikan.

Selain ketiga data yang ditunjukkan dalam Tabel 2, karakter pori zeolit dapat pula dilihat dari grafik isoterm yang juga dihasilkan dari karakterisasi menggunakan GSA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Grafik Isoterm Adsorpsi-Desorpsi Zeolit Tanpa Dealuminasi



Gambar 6. Grafik Isoterm Adsorpsi-Desorpsi Zeolit Dengan Dealuminasi

Berdasarkan Gambar 5 dan 6, dapat dilihat bahwa grafik tersebut menunjukkan hubungan antara volume gas nitrogen (adsorbat yang digunakan dalam GSA) yang teradsorpsi (cc/g) dengan tekanan relatif (P/P_o). Adsorbat yang terserap semakin banyak pada tekanan relatif yang masih rendah. Kemudian, pada tekanan relatif yang mulai terus meningkat, pori-pori diisi dengan adsorbat yang teradsorpsi atau terkondensasi (proses desorpsi) dan kemudian membentuk garis yang cenderung datar. Hal inilah yang menunjukkan bahwa pada tahap tersebut, adsorbat yang terserap semakin sedikit atau tidak ada lagi penambahan adsorbat pada pori setelah seluruh permukaan diisi (Lowell and Shields, 1991).

Jika dilihat dari polanya, kedua grafik isoterm tersebut mengikuti mekanisme adsorpsi Tipe I. Hal ini membuktikan bahwa zeolit yang digunakan pada penelitian ini merupakan material mikropori ($< 20 \text{ \AA}$) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Ukuran pori zeolit menurun dari $12,12 \text{ \AA}$ menjadi $11,96 \text{ \AA}$ sebagaimana pola pada grafik dengan dealuminasi yang tidak mengalami perubahan signifikan.

Adapun proses adsorpsi pada material mikropori seperti zeolit tidak dapat memenuhi isoterm Freundlich maupun Langmuir. Hal ini dikarenakan perilaku molekul gas pada kenyataannya menempel pada satu sisi permukaan adsorben dan dapat membentuk lapisan baru meskipun lapisan pertama belum terisi penuh. Selain itu, linearitas pada kedua grafik isoterm pada Gambar 5 dan 6 tersebut berada pada

P/P_0 0,05 – 0,35. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi pada penelitian ini cenderung mengikuti isoterm adsorpsi BET (Lowell and Shields, 1991).

Adapun nilai kapasitas adsorpsi pada zeolit tanpa dan dengan dealuminasi dihitung melalui isoterm BET dan menggunakan data-data yang dihasilkan dari karakterisasi menggunakan GSA sehingga diperoleh nilainya berturut-turut adalah 0,361 dan 0,395 g CO/g. Perbedaan nilai kedua kapasitas adsorpsi tersebut sangat kecil dimana hal ini dikarenakan perubahan nilai persentase kandungan Al dalam kerangka zeolit, volume total pori dan diameter pori juga kecil.

Pengukuran Konsentrasi Gas CO pada Kendaraan Bermotor

Konsentrasi gas CO diukur menggunakan adsorben zeolit yang berbentuk pelet. Menurut Wahono dkk. (2010), adsorben yang berbentuk pelet lebih baik dibandingkan serbuk jika digunakan untuk mengadsorpsi gas. Meskipun luas permukaan adsorben berbentuk serbuk lebih besar, proses adsorpsi tidak akan optimal karena aliran gas terhambat oleh adsorben. Sedangkan jika adsorben berbentuk pelet, gas dapat mengalir melalui celah-celah adsorben.

Adapun hasil pengukuran konsentrasi CO yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Konsentrasi CO

Media	Konsentrasi CO (%)			Rata-rata Konsentrasi CO (%)	% CO teradsorpsi
	I	II	III		
Tanpa adsorben	4,05	3,89	3,82	3,92	0
1	2,26	2,27	2,25	2,26	42,35
2	2,00	1,62	1,82	1,81	53,83
3	1,54	1,83	1,64	1,67	57,40
4	0,09	0,05	0,08	0,07	98,21

Keterangan :

- 1 = adsorben tanpa dealuminasi, panjang tabung 5 cm
- 2 = adsorben dengan dealuminasi, panjang tabung 5 cm
- 3 = adsorben tanpa dealuminasi, panjang tabung 15 cm
- 4 = adsorben dengan dealuminasi, panjang tabung 15 cm

Berdasarkan data pada Tabel 3 di atas, dapat dilihat bahwa penurunan konsentrasi CO yang paling optimum adalah

menggunakan adsorben dengan dealuminasi dengan panjang tabung 15 cm yaitu sebesar 98,21%. Persentase penurunan konsentrasi CO ini berhubungan dengan massa adsorben yang digunakan. Adapun massa adsorben masing-masing dapat dilihat pada Tabel 4. berikut.

Tabel 4. Massa Adsorben yang Digunakan

Media	Massa (gram)			Rata-rata Massa (gram)
	I	II	III	
1	19,9502	19,3109	19,5088	19,5900
2	19,9894	19,1758	19,5220	19,5624
3	55,0571	54,5887	54,0288	54,5582
4	55,7007	56,2862	55,9560	55,9810

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa massa adsorben semakin banyak dengan semakin panjangnya tabung yang digunakan sehingga semakin besar pula konsentrasi gas CO yang teradsorpsi. Namun, dapat dilihat pula bahwa perbedaan massa pada kedua jenis adsorben baik tanpa maupun dengan dealuminasi, pada panjang tabung yang sama juga tidak besar. Hal ini seharusnya menghasilkan penurunan konsentrasi gas CO yang juga tidak berbeda pada masing-masing panjang tabung mengingat hasil karakterisasi menggunakan XRF dan GSA yang tidak maksimal. Namun, jika dilihat dari Tabel 3, perbedaan persentase penurunan gas CO yang dihasilkan setelah didealuminasi dengan panjang tabung 5 dan 15 cm berturut-turut adalah 11,48 dan 40,81%. Besarnya penurunan gas CO setelah didealuminasi menggunakan tabung dengan panjang 15 cm ini dapat dikarenakan massa adsorben yang sedikit lebih banyak dibandingkan adsorben tanpa dealuminasi, yaitu 1,4228 gram. Walaupun data hasil karakterisasi menggunakan XRF dan GSA tidak maksimal, namun ketika diaplikasikan jumlah massa tersebut memberikan perbedaan persentase penurunan konsentrasi CO yang cukup besar.

Adapun penelitian serupa yang dilakukan oleh Agung dkk. (2005) menggunakan gipsium dengan panjang tabung 25 cm untuk menyerap gas CO dari kendaraan bermotor menghasilkan penurunan sebesar 30,32% dan Basuki dkk. (2008) menggunakan arang tempurung kelapa yang disisipi TiO_2 dengan panjang

tabung 15 cm menghasilkan penurunan sebesar 91,50%. Jika dibandingkan dengan kedua penelitian tersebut, maka secara umum dapat dikatakan bahwa zeolit mampu mengadsorpsi gas CO dari kendaraan bermotor lebih baik. Hal ini dikarenakan ukuran pori zeolit yang memang bersesuaian dengan gas CO.

Menurut Tagliabue *et al.* (2009), CO memiliki ukuran pori sebesar 3,76Å dan zeolit < 20Å. Adapun ukuran pori arang tempurung kelapa yang juga digunakan oleh Basuki dkk. (2008) untuk menyerap gas CO dari kendaraan bermotor adalah 10-10000Å, dimana ukuran ini sangat besar jika dibandingkan dengan zeolit. Hal inilah yang membuat zeolit lebih mampu mengadsorpsi molekul gas yang lebih kecil seperti CO dengan lebih selektif.

Adapun interaksi yang terjadi pada zeolit dan gas CO merupakan adsorpsi secara fisik. Gaya Van der Waals merupakan gaya yang paling berperan penting dalam adsorpsi fisik. Gaya ini terjadi pada saat adsorpsi di permukaan material mikropori seperti zeolit timbul sebagai akibat interaksi dipol-dipol. Interaksi dipol-dipol ini terjadi antara permukaan zeolit yang bersifat polar dan molekul adsorbat yang juga bersifat polar (Muslich dkk., 2007; Lowell *et al.*, 2004).

SIMPULAN

Variasi panjang tabung adsorben berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi gas CO dari kendaraan bermotor dimana semakin panjang tabung adsorben (adsorben semakin banyak) maka penurunan konsentrasi gas CO juga semakin besar. Adapun panjang tabung yang paling optimum adalah 15 cm menggunakan adsorben dengan dealuminasi dengan penurunan konsentrasi gas CO sebesar 98,21%. Kapasitas adsorpsi zeolit alam tanpa dan dengan dealuminasi dihitung berdasarkan isotherm BET yaitu 0,361 dan 0,395 g CO/g.

DAFTAR PUSTAKA

Agung, T; Agustiana, E dan Supadmaja, A., 2005, Penurunan Gas CO pada Sepeda Motor 4 Langkah (Tak) dengan Menggunakan Gypsum, *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, Vol.3 No. 1 : 54-63.
Basuki, K.T; Setiawan, B dan Nurimaniwathy, 2008, Penurunan

Konsentrasi CO dan NO₂ pada Emisi Gas Buang Menggunakan Arang Tempurung Kelapa yang Disisipi TiO₂, Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta : 25-26.

- Kurniasari, L; Djaeni, M dan Purbasari, A., 2011, Aktivasi Zeolit Alam sebagai Adsorben Uap Air pada Alat Pengering Bersuhu Rendah, *Reaktor*, Vol. 13, No. 3 : 178-184.
Kurniasari, L., 2010, Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben pada Alat Pengering Bersuhu Rendah, Magister Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang, (Tesis).
Kusuma, I.G.B.W., 2002, Alat Penurun Emisi Gas Buang pada Motor, Mobil, Motor Tempel dan Mesin Pembakaran Tak Bergerak, *Makara, Teknologi*, Vol. 6, No. 3 : 95-101.
Lestari, D.Y., 2010, Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara, Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia.
Lowell, S and Shields, J.E., 1991, *Powder Surface Area and Porosity*, 3rd Edition, Chapman and Hall, London.
Lowell, S; Shields, J.E; Thomas, M.A and Thommes, M., 2004, *Characterization of Porous Solids and Powders : Surface Area, Pore Size and Density*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
Maryanto, D; Mulasari, S.A dan Suryani, D., 2009, Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) dengan Penambahan Arang Aktif pada Kendaraan Bermotor di Yogyakarta, *Kes Mas*: 198-205.
Muslich; Suryadarma, P dan Hayuningtyas, R.I.R., 2007, Kinetika Adsorpsi Isotermal β-Karoten dari Olein Sawit Kasar dengan Menggunakan Bentonit, *J. Tek. Ind. Pert.* Vol. 19(2) : 93-100.
Ronaldo, R., 2008, Zeolit Alam dan Chitosan sebagai Adsorben Catalytic Converter Monolitik untuk Pereduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor, Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, (Skripsi).
SNI 09-7118.3-2005, Emisi Gas Buang – Sumber Bergerak – Bagian 3 : Cara Uji Kendaraan Bermotor Kategori L pada Kondisi Idle.

- Sriatun dan Darmawan, A., 2005, Dealuminasi Zeolit Alam Cipatujah melalui Penambahan Asam dan Oksidator, *JSKA*, Vol.VIII, No.2.
- Sumardjo, D., 2008, *Pengantar Kimia : Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran dan Program Strata I Fakultas Bioeksakta*, Buku Kedokteran EGC, Jakarta.
- Swantomo, D; Kundari, N.A dan Pambudi, S.L., 2009, Adsorpsi Fenol dalam Limbah dengan Zeolit Alam Terkalsinasi, Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta.
- Tagliabue, M; Farrusseng, D; Valencia, S; Aguado, S; Ravon, U; Rizzo, C; Corma, A and Mirodatos, C., 2009, Natural Gas Treating by Selective Adsorption: Material Science and Chemical Engineering Interplay, *Chemical Engineering Journal*, 155 : 553–566.
- Wahono, S.K; Maryana, R; Kismurtono, M; Nisa, K dan Poeloengasih, C.D., 2010, Modifikasi Zeolit Lokal Gunung Kidul sebagai Upaya Peningkatan Performa Biogas untuk Pembangkit Listrik, Seminar Rekayasa Kimia dan Proses.
- Wardhana, A.W., 1995, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Weitkamp, J and Puppe, L., 1999, *Catalysis and Zeolites : Fundamentals and Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Weitkamp, J., 2000, *Zeolites and Catalysis, Solid State Ionics*, 131 : 175-188.
- Xu, R; Pang, W; Yu, J; Huo, Q and Chen, J., 2007, *Chemistry of Zeolites and Related Porous Materials : Synthesis and Structure*, John Wiley & Sons., Singapore.
- Yulisman; Widodo, W.P; Yulianto, S.N dan Yuda, 2010, Preparasi Zeolit Alam Lampung dengan Larutan HF, HCl dan Kalsinasi untuk Adsorpsi Gas CO, Seminar Rekayasa Kimia dan Proses.
- Zubaidi, A., 2003, Pengaruh Dimeter Partikel dan Suhu Kalsinasi terhadap Dealuminasi Zeolit Alam Wonosari, Universitas Diponegoro, Semarang, (Skripsi).